

**ANALISIS POTENSI DAYA LISTRIK DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
AIR WADUK GAJAH MUNGKUR KABUPATEN WONOGIRI**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

DEDY KHARISMA PUTRA

NIM D400150014

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS POTENSI DAYA LISTRIK DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
AIR WADUK GAJAH MUNGKUR KABUPATEN WONOGIRI**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

DEDY KHARISMA PUTRA

NIM D400150014

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Agus Supardi, S.T, M.T

NIK. 883

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS POTENSI DAYA LISTRIK DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
AIR WADUK GAJAH MUNGKUR KABUPATEN WONOGIRI**

OLEH

DEDY KHARISMA PUTRA

D 400150014

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Sabtu, 4 April 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

- 1. Agus Supardi S.T,M.T
(Ketua Dewan Penguji)**
- 2. Umar S.T,M.T
(Anggota I Dewan Penguji)**
- 3. Hasyim Asyari S.T,M.T
(Anggota II Dewan Penguji)**

()
()
()

Dekan,



Dr. Sri Supariono, M.T, Phd.

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta 4 April 2019

Penulis



DEDY KHARISMA PUTRA

D400150014

ANALISIS POTENSI DAYA LISTRIK DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR WADUK GAJAH MUNGKUR KABUPATEN WONOGIRI

Abstrak

Saat ini kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat baik untuk kebutuhan industri maupun rumah tangga, namun hingga sekarang energi listrik masih banyak dibangkitkan dengan sumber daya yang tidak dapat diperbaharukan (batubara), yang mana akan habis jika terus digunakan. Salah satu solusi dari masalah ini adalah dengan memanfaatkan sumber daya yang terbarukan contohnya air, udara, angin serta sel surya. Hal ini pun sesuai dengan kondisi geografis Indonesia, salah satu wilayah yang dinilai cocok sebagai pembangunan pembangkit listrik adalah Waduk Gajah Mungkur yang dibuat dengan menbendung sungai Bengawan Solo. Sungai Bengawan Solo memiliki debit air yang banyak dan menjanjikan untuk dibuat pembangkit listrik tenaga air, tinggi air waduk maksimum 137 m serta luas genangan maksimum 8800 hektar mencakup 7 kecamatan yaitu kecamatan Wonogiri, Ngadirojo, Nguntoronadi, Baturetno, Giriwoyo, Eromoko dan Wuryantoro. Dalam melakukan survei dan penelitian pada Waduk Gajah mungkur tentang analisis potensi daya listrik di pembangkit listrik tenaga air waduk Gajah Mungkur kabupaten Wonogiri penulis menggunakan beberapa metode pengambilan data. Pengukuran *headnett* dilakukan secara langsung dari google koordinat untuk mencari titik *elevansi* dan *tail race* dan pengukuran debit air diperoleh data dari sumber yang kredibel, dari metode tersebut diperoleh debit air rata-rata 26,3 m³/s. PLTA waduk Gajah Mungkur saat puncaknya pada bulan Januari mampu membangkitkan daya hingga 332 MW dan terendah bulan Juni 111 MW. Energi listrik yang dibangkitkan mencapai 38 Gwh dalam setahun. Hasil perhitungan nilai NCF dan CF dalam penentuan kinerja PLTA Gajah Mungkur memperoleh nilai CF 26,03% untuk unit 1 dengan jam operasi 3012 dan 46,58% pada unit 2 dengan jam operasi 5248, nilai NCF sendiri sebesar 37,48%. Mengacu pada DKP-IKP 2007 PLTA Gajah Mungkur dinilai handal dalam hal proses maupun produksi energi listrik. PLTA Gajah Mungkur juga mempunyai pemasukan sebesar 51,85 milyar dari penjualan energi listrik. Hubungan antara debit air, daya, energi serta *income* adalah semakin besar debit air maka semakin besar pula daya, energi serta *income* yang didapat.

Kata Kunci: Waduk Gajah Mungkur, debit air, *headnett*, PLTA

Abstract

Currently the need for electrical energy is increasing both for industrial and household needs, but until now there is still a lot of electrical energy generated with non-renewable resources (coal), which will be used up if it continues to be used. One solution to this problem is to utilize

renewable resources such as water, air, wind and solar cells. This is also in accordance with the geographical conditions of Indonesia, one of the areas considered suitable as the construction of a power plant is the Gajah Mungkur Reservoir which was made by holding the Bengawan Solo river. The Bengawan Solo River has a large and promising water discharge for hydroelectric power generation, a maximum water reservoir height of 137 m and a maximum inundation area of 8800 hectares covering 7 sub-districts namely Wonogiri, Ngadirojo, Nguntoronadi, Baturetno, Giriwoyo, Eromoko and Wuryantoro sub-districts. In conducting a survey and research on Gajah Mungkur Reservoir about the analysis of electric power potential in the Gajah Mungkur reservoir hydroelectric power plant in Wonogiri district the authors used several methods of data retrieval. Headnett measurement is done directly from Google coordinates to look for elevation points and tail races and measurements of water discharge data obtained from credible sources, from this method obtained an average water discharge of 26.3 m³/s. Gajah Mungkur Hydroelectric Power has peak performance in January capable of generating electric power 332 MW and lowest in Juni with 111 MW. Capable generating energy 37 Gwh in a year . The results of the calculation of NCF and CF values in determining the performance of the Gajah Mungkur Hydroelectric Power Plant obtained CF value of 23.18% for unit 1 with 3112 hour operating and 47.02% in unit 2 with 5248 hour operation, the NCF value was 35.1%. Referring to the 2007 DKP-IKP PLTA Gajah Mungkur is considered reliable in terms of the process and production of electricity. PLTA Gajah Mungkur also has revenues of 51,85 billion from the sale of electricity. Connection between water discharge, power, energy and income is greater water discharge more power, energy and revenue has obtaining.

Keywords: Gajah Mungkur Dam, water discharge, headnett, PLTA

1. PENDAHULUAN

Saat ini seiring perkembangan umat manusia baik dalam ekonomi, sains maupun budaya telah menimbulkan berbagai efek yang perlu dikaji secara mendalam. Energi merupakan faktor penting dalam pertumbuhan negara untuk pertumbuhan ekonomi sekaligus pertumbuhan sosial dan kesejahteraan masyarakat (Kumar, 2015). Salah satu efek dari perkembangan umat manusia yaitu adanya tuntutan akan adanya sumber energi listrik yang harus terus tersedia serta selalu meningkat dalam tiap tahun.

Laporan yang baru-baru ini dikeluarkan *the International Energy Outlook* (IEO2009) memproyeksikan peningkatan permintaan dunia untuk energi meningkat

sebesar 44% dari 2006 ke 2030, dan pada saat yang sama ada 77% kenaikan jaringan listrik di dunia. Namun, ada kekhawatiran di laporan menyatakan 80% listrik dihasilkan dari bahan bakar fosil (Funsho, 2010). Di Indonesia sendiri di tingkat kebutuhan akan daya listrik meningkat setidaknya 7000 MW setiap tahun. Tahun 2017 kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik di Indonesia sebesar 60.789,98 MW yang terdiri dari pembangkit PLN sebesar 41.720,96 MW dan non PLN sebesar 19.069,02 lalu penyediaan tenaga listrik sendiri sebesar 254.657,39 GWh dengan jumlah pelanggan 68.068.283, rasio elektrifikasi sendiri mencapai 95,35%.

Perubahan iklim, polusi dan ketakutan akan kekurangan energi adalah salah satu permasalahan terbesar saat ini (Jacobson, 2011). Demi memenuhi kebutuhan akan energi listrik tersebut banyak pembangkit listrik yang dibangun memakai sumber daya yang pada dasarnya menggunakan batubara, walaupun pembangkit dengan batubara memiliki berbagai keunggulan tidak dapat menutupi kelemahan yang harus diperhatikan yaitu adanya polusi serta batubara merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharukan.

Perkembangan zaman telah berhasil mengembangkan pembangkit yang menggunakan sumber daya yang dapat diperbarukan salah satunya adalah air. Salah satu sumber air yang berhasil dijadikan sebagai pembangkit listrik adalah waduk Gajah Mungkur.

Proses perencanaan pembangunan waduk Gajah Mungkur dimulai sejak tahun 1964 dengan fungsi utama sebagai pengendali banjir di sungai Bengawan Solo. Kemudian pada tahun 1972-1974 dengan kerjasama *Overseas Technical Cooperation of Jepang* disusun rancangan pembangunan. Lalu pada akhir tahun 1976-1981 mulai dikerjakan dan mulai beroperasi pada tahun 1982. Ketika perencanaan waduk ini mampu beroperasi sampai 100 tahun. Namun, sedimentasi yang terjadi menyebabkan umur waduk ini diperkirakan mengalami pengurangan umur operasi.

Prinsip pengoperasian pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah dengan memanfaatkan energi potensial pada air waduk atau air terjun menjadi energi gerak mekanik melalui turbin air dan dari energi mekanik menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Pembangkit listrik tenaga air konvensional bekerja dengan cara

mengalirkan air dari dam ke turbin setelah itu air dibuang, saat ini ada PLTA yang mampu memompa air dalam *lower reservoir* ke *upper reservoir* untuk menjaga volume air dalam waduk dan memenuhi permintaan listrik agar tetap terpenuhi.

PLTA mampu beroperasi dengan maksimal sesuai perencanaan sebelumnya, jika terdapat Daerah Aliran Sungai (DAS) yang dapat menjadi sumber air untuk memenuhi kebutuhan dalam pengoperasian PLTA tersebut. Pada pengoperasian PLTA tersebut, perhitungan perubahan volume air pada waduk / dam, serta air yang dialirkan melalui pintu saluran air untuk menggerakkan turbin sebagai penggerak generator harus dilakukan dengan baik. Dalam operasi PLTA hal tersebut dapat dijadikan sebagai dasar tindakan pengaturan penggunaan air dan pengamanan seluruh sistem sehingga PLTA tersebut dapat beroperasi sepanjang tahun, walaupun pada musim kemarau panjang.

2. METODE

2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari materi yang berkaitan dengan PLTA baik jurnal internasional maupun dalam negeri. Kemudian dapat dijadikan sebagai referensi saat melakukan penelitian.

2.2 Survei Lokasi

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang posisi *headnett intake*, *tail race*, dan letak dari *powerhouse* PLTA di waduk Gajah Mungkur perlu dilakukan survei lokasi.

2.3 Pengukuran Tinggi *Headnett*

Dalam mengukur besaran tinggi jatuh air terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan. Yang pertama dengan cara manual dan yang kedua dengan menggunakan aplikasi Google koordinat.

2.4 Menghitung Potensi Daya yang Dibangkitkan

Data yang diperoleh kemudian dapat digunakan untuk menghitung potensi daya listrik PLTA melalui persamaan :

$$P = g \times Q \times H_n \times \eta \quad (1)$$

Dengan :

- P = Daya (kW)
- g = Gravitasi (9,81)
- Q = Debit aliran air (m³/s)
- H_n = Tinggi *headnett* (m)
- η = Effisiensi turbin dan generator

Hasil dari perhitungan daya listrik yang dihasilkan dapat dikembangkan untuk menghitung energi listrik yang dihasilkan melalui persamaan ;

$$W = P \times 24 \times n \quad (2)$$

Dengan :

- W = Energi (kWh)
- P = Daya (kW)
- N = hari operasional

2.5 Menghitung NCF (Net Capacity Factor) dan CF (Capacity Factor)

Kinerja pembangkit dapat dinilai dengan menghitung besarnya nilai penggunaan energi unit pembangkit dalam waktu tertentu yang dilihat dari kemampuan produksi pembangkit tersebut dengan melihat nilai NCF dan CF. Nilai NCF dan CF dihitung melalui persamaan :

$$NCF = \frac{\text{Produksi netto}}{\text{Daya mampu netto} \times \text{periode jam}} \times 100 \% \quad (3)$$

$$CF = \frac{\text{Produksi bruto}}{\text{Daya mampu netto} \times \text{periode jam}} \times 100 \% \quad (4)$$

Dengan :

- NCF = Kinerja pembangkit
- CF = Kinerja generator
- Daya mampu Netto = Kapasitas generator

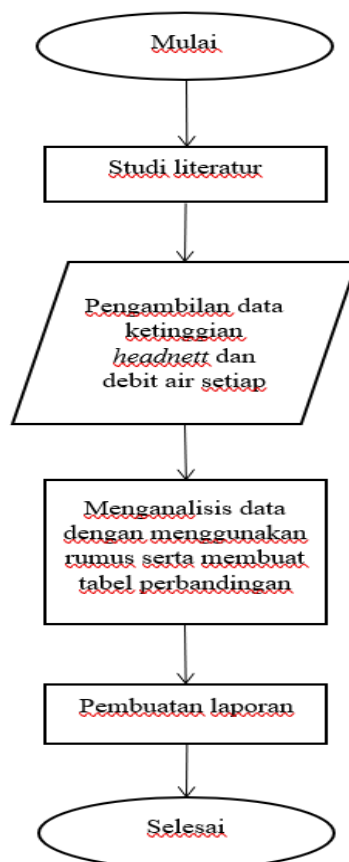
Produksi Netto	= Total produksi energi generator
Produksi Bruto	= Total produksi energi pembangkit
Periode Jam	= Waktu beroperasi dalam satuan jam

2.6 Menghitung Pendapatan

Data energi listrik PLTA kemudian dapat digunakan untuk menghitung pendapatan yang dihasilkan melalui persamaan :

$$Income = W \times \text{Harga} \quad (5)$$

Dengan : W = Energi listrik (KWh)
 Harga = 1 KWh sebesar Rp 1352

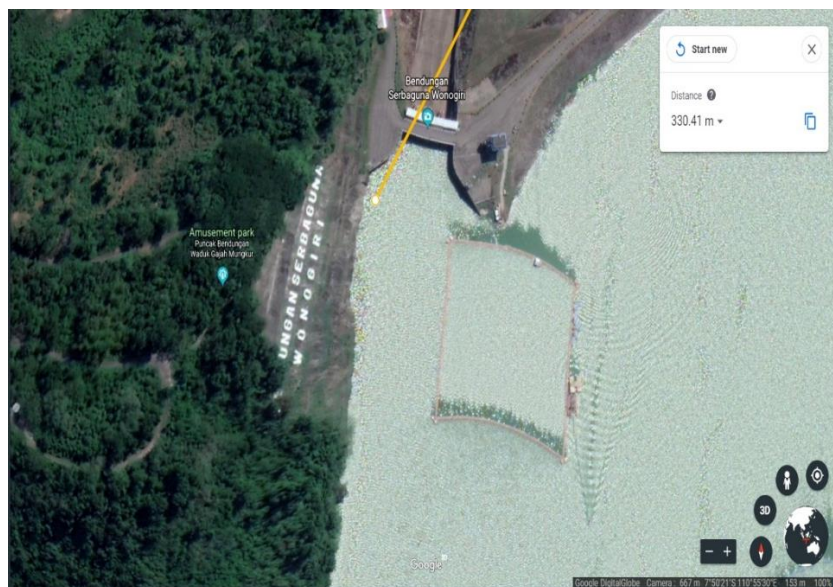


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis *Headnett* dan Debit

Pada analisis penentuan besar ketinggian jatuh air dapat diketahui dengan menggunakan aplikasi Google Earth pada titik $7^{\circ}50'20''\text{S}$ $100^{\circ}55'30''\text{E}$ untuk *top headnett* berada di ketinggian 153 dpl lalu pada titik $7^{\circ}50'12''\text{S}$ $100^{\circ}55'35''\text{E}$ untuk *bottom headnett* teramati pada ketinggian 124 dpl. Mengacu dari data tersebut dapat diketahui ketinggian titik jatuh air sebesar 19 m.



Gambar 2. *Top Headnett*



Gambar 3. Bottom Headnett

Untuk mendapatkan besarnya energi listrik yang dibangkitkan harus dicari debit air pada waduk Gajah Mungkur. Ada beberapa metode yang digunakan untuk mencari besarnya debit air yang mengalir, secara teori besaran debit air yang mengalir dapat diketahui melalui persamaan :

$$Q = A \times V \quad (6)$$

Dengan : $Q = \text{Debit air (m}^3/\text{s)}$

$A = \text{Luas Penampang (m}^2\text{)}$

$V = \text{Kecepatan Air (m/s)}$

Metode lain ialah dengan menggunakan alat pengukur arus (*current meter*) yang dapat mendeteksi banyaknya air yang mengalir baik pada musim kemarau maupun musim penghujan.

Tabel 1. Data debit air pada waduk Gajah Mungkur antara bulan Januari sampai Mei 2018.

Tanggal	Januari		Februari		Maret		April		Mei	
	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2
1	31,2	31,2	32,45	32,45	29,4	29,4	27,7	27,7	-	22,7
2	31,2	31,2	31,55	31,55	29,4	29,4	25,4	25,4	-	22,8
3	31,2	31,2	30,7	30,7	29,4	29,4	20,8	20,8	-	19
4	31,2	31,2	31,25	31,25	29,4	29,4	20,1	20,1	-	20,8
5	31,2	31,2	31,3	31,3	28,4	-	20,8	20,8	-	21,6
6	31,2	31,2	31,4	31,4	28,4	-	20,8	20,8	-	21,6
7	31,2	31,2	31,4	31,4	28,4	-	20,8	20,8	21,6	21,6
8	30,45	30,45	30,45	30,45	28,4	-	20,8	21,8	21,1	-
9	30,1	30,1	29,5	29,5	28,4	-	-	24	20,9	-
10	30,1	30,1	29,5	29,5	25,4	20,2	-	24	20,9	-
11	31,75	31,75	31,05	31,05	18,4	27,5	-	24	20,9	-
12	32,9	32,9	29,5	29,5	27	27	-	25,2	20,9	-
13	32,9	32,9	30,65	30,65	28,5	28,5	-	24,4	20,9	-
14	32,9	32,9	31,3	31,3	28,5	28,5	-	22,6	20,9	-
15	33,15	33,15	32,1	32,1	28,4	25,6	-	22,6	22	-
16	34,5	34,5	31,7	31,7	28,3	28,3	-	22,6	24,4	-
17	34,5	34,5	30,9	30,9	28,3	28,3	-	22,6	24,4	-
18	33,5	33,5	30,9	30,9	28,3	28,3	-	22,6	24,4	-

19	34	34	30,9	30,9	28,3	28,3	-	22,6	24,4	-
20	34	34	30,9	30,9	28,3	28,3	-	22,6	24,4	-
21	34	34	30,65	30,65	28,3	28,3	-	22,6	24,4	-
22	33,9	33,9	29,4	29,4	28,3	28,3	-	22,6	24,4	-
23	33,5	33,5	29,4	29,4	24,95	24,95	-	22,6	24,4	-
24	33,5	33,5	29,4	29,4	24,8	24,8	-	22,6	24,4	-
25	33,25	33,25	29,4	29,4	24,8	24,8	-	22,6	24,4	-
26	33,1	33,1	29,4	29,4	28,4	28,4	-	22,6	24,4	-
27	33,1	33,1	29,4	29,4	28,4	28,4	-	22,6	24,4	-
28	33,25	33,25	29,4	29,4	25,35	25,35	-	22,6	24,4	-
29	33,3	33,3	-	-	21,65	21,65	-	22,6	24,4	-
30	33,3	33,3	-	-	27,7	27,7	-	22,6	24,4	-
31	33,3	33,3	-	-	27,7	27,7	-	-	24,4	-
Rata-rata	32,6	32,6	30,6	30,6	27,3	27,2	22,2	22,8	23,2	21,4
Jam Operasional	732	732	672	672	744	624	168	720	588	156

Keterangan: untuk tanggal 28 Januari 2018 kedua unit pembangkit bekerja mulai pukul 12.00. Pada tanggal 7 Mei Unit 2 bekerja antara pukul 00.00-12.00, unit 1 bekerja antara 12.00-24.00. diluar tanggal tersebut unit pembangkit bekerja 24 jam.

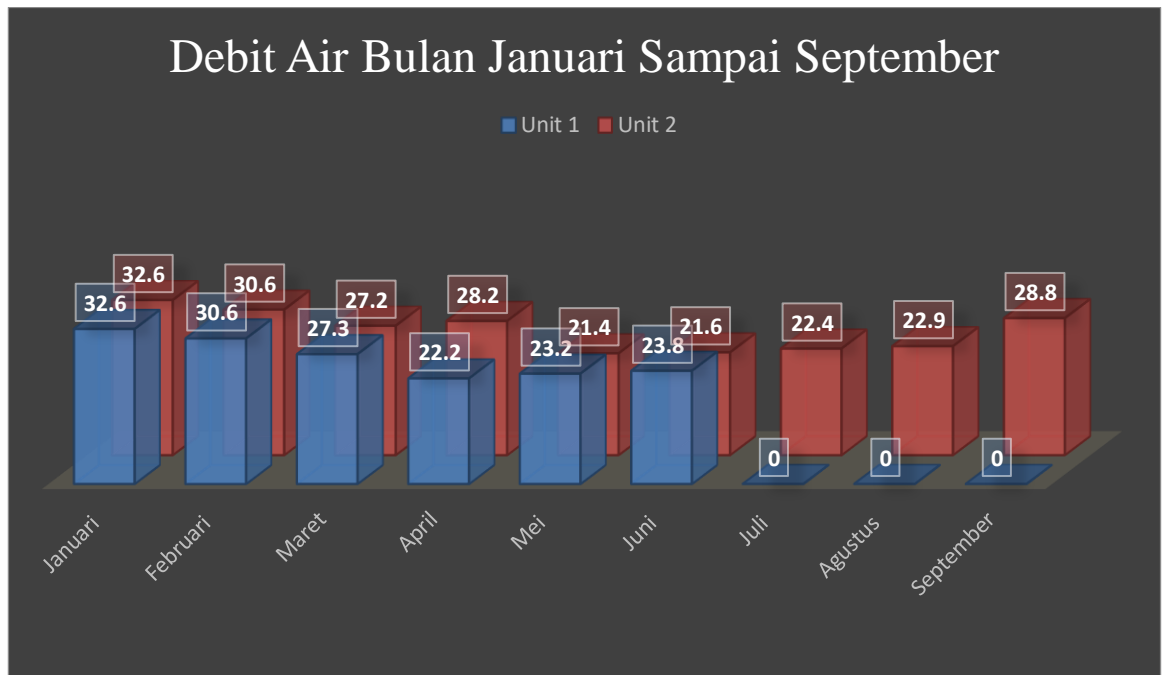
Tabel 2. Data debit air pada waduk Gajah Mungkur antara bulan Juni sampai September 2018.

Tanggal	Juni		Juli		Agustus		September	
	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2
1	24,4	-	-	23	-	23	-	29,5
2	24,4	-	-	23	-	23	-	29,5
3	24,4	-	-	23	-	23	-	29,5
4	22,9	-	-	23	-	23	-	29,5
5	23	23	-	23	-	23	-	29,5
6	-	21,2	-	23	-	23	-	29,5
7	-	21,2	-	23	-	23	-	29,5
8	-	21,2	-	23	-	23	-	29,5
9	-	21,2	-	22,7	-	23	-	29,5
10	-	21,2	-	22	-	23	-	29,5
11	-	21,2	-	22	-	23	-	29,5
12	-	21,2	-	22	-	23	-	29,5
13	-	21,2	-	22	-	23	-	29
14	-	21,2	-	22	-	23	-	28,5
15	-	21,2	-	22	-	23	-	28,5
16	-	21,2	-	22	-	23	-	28,5
17	-	21,2	-	22	-	23	-	28,5

18	-	21,2	-	22	-	23,1	-	28,5
19	-	21,2	-	22	-	23,1	-	28,5
20	-	21,2	-	22	-	22,5	-	28,5
21	-	21,2	-	22	-	22,2	-	28,5
22	-	21,2	-	22	-	22,2	-	28,5
23	-	21,2	-	22	-	22,2	-	28,5
24	-	21,2	-	22	-	21,5	-	28,5
25	-	21,2	-	22	-	20	-	28,5
26	-	21,5	-	22	-	20	-	28,7
27	-	23	-	22	-	21,2	-	28,8
28	-	23	-	22	-	22,5	-	28
29	-	23	-	23	-	26	-	26,6
30	-	23	-	23	-	26	-	26,6
31			-	23		26	-	
Rata-rata	23,8	21,6	0,0	22,4	0,0	22,9	0,0	28,8
Jam Operasional	108	112	0	744	0	744	0	744

Keterangan: Tanggal 5 Juni 2018 unit 1 bekerja antara pukul 00.00-12.00, unit 2 bekerja antara pukul 12.00-24.00. Diluar tanggal tersebut unit pembangkit bekerja 24 jam.

Mengacu tabel 1 dan 2 dapat dilihat bahwa bulan Januari merupakan bulan dengan debit air yang paling tinggi dengan debit air pada kedua unit pembangkit rata-rata 32,6 m²/s, hal ini terjadi karena telah memasuki musim penghujan dimana waduk Gajah Mungkur mengalami curah hujan yang tinggi. Setelah bulan januari curah hujan pada waduk mulai menurun yang menyebabkan debit air juga mengalami penurunan secara perlahan. Pada bulan Juli debit air mencapai titik terendah yaitu 22,4 m²/s. Pada bulan Oktober, November, Desember PLTA berhenti beroperasi karena debit air dan ketinggian elevansi yang terlalu rendah, saat-saat seperti ini umumnya dimanfaatkan untuk melakukan perawatan atau *upgrade* peralatan di PLTA.



Gambar 4. Debit air pada bulan Januari sampai September

Grafik debit air waduk Gajah Mungkur di atas menunjukkan bahwa antara bulan Januari sampai bulan Maret kedua unit pembangkit bekerja secara penuh, namun jumlah debit air yang digunakan cenderung menurun. Awal bulan April debit air yang tersedia masih bisa menggerakkan 2 buah unit pembangkit kemudian mulai bulan Mei debit air mengalami penurunan yang cukup besar dibanding awal tahun sehingga hanya 1 unit pembangkit yang mampu dijalankan. Antara bulan Mei sampai Juni pembangkit 1 dan 2 secara bergantian beroperasi namun mulai bulan Juli sampai September unit 2 digunakan secara terus menerus dibanding dengan unit 1, hal ini terjadi karena unit pembangkit 2 merupakan peralatan yang baru.

Berdasarkan data debit air yang telah dikumpulkan dapat diketahui besarnya daya listrik yang dibangkitkan pada tanggal 1 Januari 2018 melalui persamaan:

$$\begin{aligned}
 P &= g \times Q \times H_n \times \eta_{\text{turbinegenerator}} \\
 &= 9,81 \times 31,2 \text{ m}^3/\text{s} \times 19 \text{ m} \times 90 \% \\
 &= 5217,83 \text{ kW}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Dari persamaan di atas diketahui bahwa PLTA waduk Gajah Mungkur membangkitkan daya sebesar 5217,83 kW. Berdasar dari perhitungan tersebut dapat diketahui pula nilai dari energi listrik yang dihasilkan selama 1 hari dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 W &= P \times 24 \times n_{\text{hari operasi}} \\
 &= 5217,83 \text{ kW} \times 24 \text{ jam} \times 1 \text{ hari} \\
 &= 125228,13 \text{ kWh} \\
 &= 125,2 \text{ MWh}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

3.2 Analisa Daya Listrik

Tabel 3. Daya listrik pada waduk Gajah Mungkur bulan Januari sampai Mei dalam MW.

Tanggal	Januari		Februari		Maret		April		Mei	
	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2
1	5,22	5,22	5,22	5,22	4,54	4,57	3,96	4,36	0,00	3,69
2	5,22	5,22	5,08	5,08	4,54	4,57	3,63	4,00	0,00	3,71
3	5,22	5,22	4,94	4,94	4,54	4,57	2,97	3,27	0,00	3,09
4	5,22	5,22	5,03	5,03	4,54	4,57	2,87	3,16	0,00	3,38
5	5,22	5,22	5,04	5,04	4,39	0,00	2,97	3,27	0,00	3,51
6	5,22	5,22	5,05	5,05	4,39	0,00	2,97	3,27	0,00	3,51
7	5,22	5,22	5,05	5,05	4,39	0,00	2,97	3,27	1,82	1,76
8	5,09	5,09	4,90	4,90	4,39	0,00	2,97	3,43	3,55	0,00
9	5,03	5,03	4,75	4,75	4,39	0,00	0,00	3,78	3,51	0,00
10	5,03	5,03	4,75	4,75	3,93	3,14	0,00	3,78	3,51	0,00
11	5,31	5,31	5,00	5,00	2,84	4,28	0,00	3,78	3,51	0,00
12	5,50	5,50	4,75	4,75	4,17	4,20	0,00	3,96	3,51	0,00
13	5,50	5,50	4,93	4,93	4,41	4,43	0,00	3,84	3,51	0,00
14	5,50	5,50	5,04	5,04	4,41	4,43	0,00	3,55	3,51	0,00
15	5,54	5,54	5,17	5,17	4,39	3,98	0,00	3,55	3,70	0,00
16	5,77	5,77	5,10	5,10	4,37	4,40	0,00	3,55	4,10	0,00
17	5,77	5,77	4,97	4,97	4,37	4,40	0,00	3,55	4,10	0,00
18	5,60	5,60	4,97	4,97	4,37	4,40	0,00	3,55	4,10	0,00
19	5,69	5,69	4,97	4,97	4,37	4,40	0,00	3,55	4,10	0,00
20	5,69	5,69	4,97	4,97	4,37	4,40	0,00	3,55	4,10	0,00
21	5,69	5,69	4,93	4,93	4,37	4,40	0,00	3,55	4,10	0,00

22	5,67	5,67	4,73	4,73	4,37	4,40	0,00	3,55	4,10	0,00
23	5,60	5,60	4,73	4,73	3,86	3,88	0,00	3,55	4,10	0,00
24	5,60	5,60	4,73	4,73	3,83	3,86	0,00	3,55	4,10	0,00
25	5,56	5,56	4,73	4,73	3,83	3,86	0,00	3,55	4,10	0,00
26	5,54	5,54	4,73	4,73	4,39	4,42	0,00	3,55	4,10	0,00
27	5,54	5,54	4,73	4,73	4,39	4,42	0,00	3,55	4,10	0,00
28	2,78	2,78	4,73	4,73	3,92	3,94	0,00	3,55	4,10	0,00
29	5,57	5,57	-	-	3,35	3,37	0,00	3,55	4,10	0,00
30	5,57	5,57	-	-	4,28	4,31	0,00	3,55	4,10	0,00
31	5,57	5,57	-	-	4,28	4,31	-	-	4,10	0,00
P _{rata-rata}	5,36	5,36	4,92	4,92	4,23	3,54	3,16	3,59	3,09	3,24
P _{Total}	166,24	166,24	137,72	137,72	131,03	109,89	25,31	107,59	95,79	22,67

Tabel 4 Daya listrik pada waduk Gajah Mungkur bulan Juni sampai September dalam MW.

Tanggal	Juni		Juli		Agustus		September	
	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2
1	3,93	0,00	0,00	4,01	0,00	4,05	0,00	4,85
2	3,93	0,00	0,00	4,01	0,00	4,05	0,00	4,85
3	3,93	0,00	0,00	4,01	0,00	4,05	0,00	4,85
4	3,68	0,00	0,00	4,01	0,00	4,05	0,00	4,85
5	1,85	1,96	0,00	4,01	0,00	4,05	0,00	4,85
6	0,00	3,62	0,00	4,01	0,00	4,05	0,00	4,85
7	0,00	3,62	0,00	4,01	0,00	4,05	0,00	4,85
8	0,00	3,62	0,00	4,01	0,00	4,05	0,00	4,85
9	0,00	3,62	0,00	3,96	0,00	4,05	0,00	4,85
10	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	4,05	0,00	4,85
11	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	4,05	0,00	4,85
12	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	4,05	0,00	4,85
13	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	4,05	0,00	4,77
14	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	4,05	0,00	4,69
15	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	4,05	0,00	4,69
16	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	4,05	0,00	4,69
17	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	4,05	0,00	4,69

18	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	4,07	0,00	4,69
19	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	4,07	0,00	4,69
20	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	3,97	0,00	4,69
21	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	3,91	0,00	4,69
22	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	3,91	0,00	4,69
23	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	3,91	0,00	4,69
24	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	3,79	0,00	4,69
25	0,00	3,62	0,00	3,84	0,00	3,53	0,00	4,69
26	0,00	3,67	0,00	3,84	0,00	3,53	0,00	4,72
27	0,00	3,93	0,00	3,84	0,00	3,74	0,00	4,74
28	0,00	3,93	0,00	3,84	0,00	3,97	0,00	4,61
29	0,00	3,93	0,00	4,01	0,00	4,58	0,00	4,38
30	0,00	3,93	0,00	4,01	0,00	4,58	0,00	4,38
31	-	-	0,00	4,01	0,00	4,58	-	-
P _{rata-rata}	3,46	3,13	0,00	3,90	0,00	4,03	0,00	4,74
P _{Total}	17,31	93,80	0,00	121,03	0,00	125,07	0,00	142,10

Tabel 5. Energi listrik pada waduk Gajah Mungkur bulan Januari sampai Mei dalam MWh

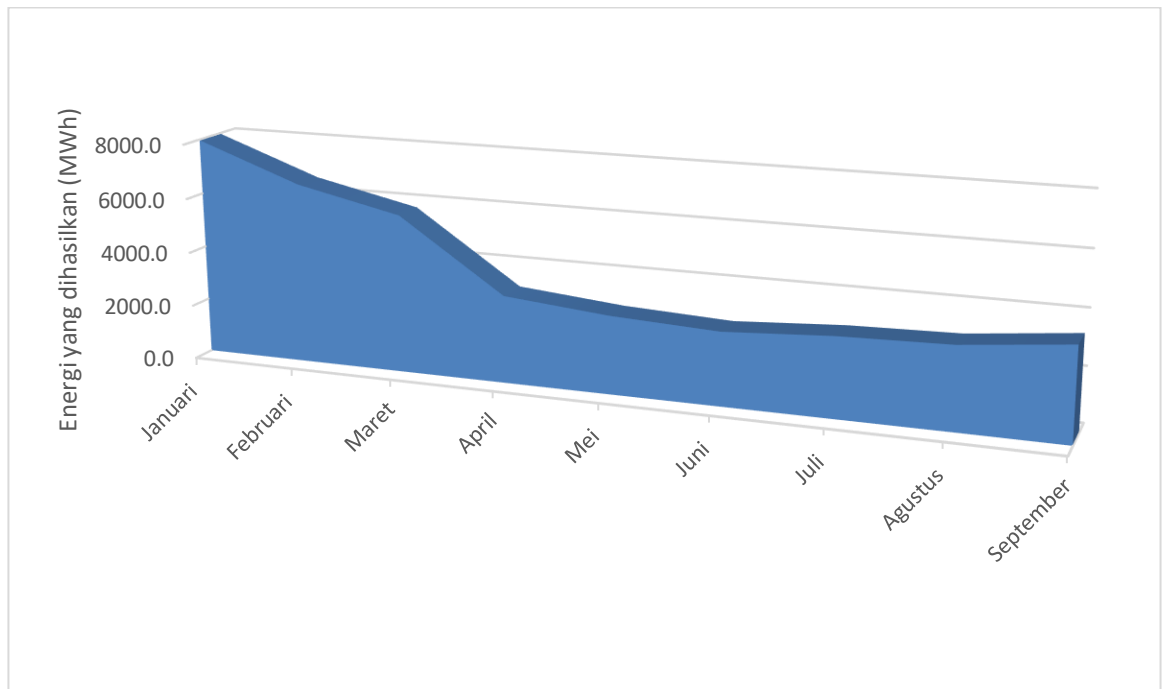
Tanggal	Januari		Februari		Maret		April		Mei	
	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2
1	125,2	125,2	125,3	125,3	109,1	109,7	95,0	104,6	0,0	88,6
2	125,2	125,2	121,8	121,8	109,1	109,7	87,1	95,9	0,0	89,0
3	125,2	125,2	118,6	118,6	109,1	109,7	71,3	78,5	0,0	74,2
4	125,2	125,2	120,7	120,7	109,1	109,7	68,9	75,9	0,0	81,2
5	125,2	125,2	120,9	120,9	105,4	0,0	71,3	78,5	0,0	84,4
6	125,2	125,2	121,3	121,3	105,4	0,0	71,3	78,5	0,0	84,4
7	125,2	125,2	121,3	121,3	105,4	0,0	71,3	78,5	43,6	42,2
8	122,2	122,2	117,6	117,6	105,4	0,0	71,3	82,3	85,1	0,0
9	120,8	120,8	113,9	113,9	105,4	0,0	0,0	90,6	84,3	0,0
10	120,8	120,8	113,9	113,9	94,2	75,4	0,0	90,6	84,3	0,0
11	127,4	127,4	119,9	119,9	68,3	102,6	0,0	90,6	84,3	0,0
12	132,1	132,1	113,9	113,9	100,2	100,8	0,0	95,1	84,3	0,0
13	132,1	132,1	118,4	118,4	105,7	106,4	0,0	92,1	84,3	0,0

14	132,1	132,1	120,9	120,9	105,7	106,4	0,0	85,3	84,3	0,0
15	133,1	133,1	124,0	124,0	105,4	95,5	0,0	85,3	88,8	0,0
16	138,5	138,5	122,4	122,4	105,0	105,6	0,0	85,3	98,5	0,0
17	138,5	138,5	119,3	119,3	105,0	105,6	0,0	85,3	98,5	0,0
18	134,5	134,5	119,3	119,3	105,0	105,6	0,0	85,3	98,5	0,0
19	136,5	136,5	119,3	119,3	105,0	105,6	0,0	85,3	98,5	0,0
20	136,5	136,5	119,3	119,3	105,0	105,6	0,0	85,3	98,5	0,0
21	136,5	136,5	118,4	118,4	105,0	105,6	0,0	85,3	98,5	0,0
22	136,1	136,1	113,5	113,5	105,0	105,6	0,0	85,3	98,5	0,0
23	134,5	134,5	113,5	113,5	92,6	93,1	0,0	85,3	98,5	0,0
24	134,5	134,5	113,5	113,5	92,0	92,5	0,0	85,3	98,5	0,0
25	133,5	133,5	113,5	113,5	92,0	92,5	0,0	85,3	98,5	0,0
26	132,9	132,9	113,5	113,5	105,4	106,0	0,0	85,3	98,5	0,0
27	132,9	132,9	113,5	113,5	105,4	106,0	0,0	85,3	98,5	0,0
28	66,7	66,7	113,5	113,5	94,0	94,6	0,0	85,3	98,5	0,0
29	133,7	133,7	-	-	80,3	80,8	0,0	85,3	98,5	0,0
30	133,7	133,7	-	-	102,8	103,4	0,0	85,3	98,5	0,0
31	133,7	133,7	-	-	102,8	103,4	-	-	98,5	0,0
W _{Total}	3989,7	3989,7	3305,2	3305,2	3144,8	2637,4	607,4	2582,1	2299,0	544,0
W _{Rata-rata}	128,7	128,7	118,0	118,0	101,4	85,1	20,2	86,1	74,2	17,5
Eff	0,90	0,90	0,86	0,86	0,83	0,83	0,77	0,84	0,90	0,87

Tabel 6. Energi listrik pada waduk Gajah Mungkur bulan Juni sampai September dalam MWh

Tanggal	Juni		Juli		Agustus		September	
	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2	Unit 1	unit 2
1	94,2	0,0	0,0	96,3	0,0	97,3	0,0	116,5
2	94,2	0,0	0,0	96,3	0,0	97,3	0,0	116,5
3	94,2	0,0	0,0	96,3	0,0	97,3	0,0	116,5
4	88,4	0,0	0,0	96,3	0,0	97,3	0,0	116,5
5	44,4	47,2	0,0	96,3	0,0	97,3	0,0	116,5
6	0,0	86,9	0,0	96,3	0,0	97,3	0,0	116,5
7	0,0	86,9	0,0	96,3	0,0	97,3	0,0	116,5
8	0,0	86,9	0,0	96,3	0,0	97,3	0,0	116,5
9	0,0	86,9	0,0	95,1	0,0	97,3	0,0	116,5
10	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	97,3	0,0	116,5
11	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	97,3	0,0	116,5

12	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	97,3	0,0	116,5
13	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	97,3	0,0	114,5
14	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	97,3	0,0	112,5
15	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	97,3	0,0	112,5
16	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	97,3	0,0	112,5
17	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	97,3	0,0	112,5
18	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	97,7	0,0	112,5
19	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	97,7	0,0	112,5
20	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	95,2	0,0	112,5
21	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	93,9	0,0	112,5
22	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	93,9	0,0	112,5
23	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	93,9	0,0	112,5
24	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	91,0	0,0	112,5
25	0,0	86,9	0,0	92,1	0,0	84,6	0,0	112,5
26	0,0	88,2	0,0	92,1	0,0	84,6	0,0	113,3
27	0,0	94,3	0,0	92,1	0,0	89,7	0,0	113,7
28	0,0	94,3	0,0	92,1	0,0	95,2	0,0	110,6
29	0,0	94,3	0,0	96,3	0,0	110,0	0,0	105,0
30	0,0	94,3	0,0	96,3	0,0	110,0	0,0	105,0
31	-	-	0,0	96,3	0,0	110,0	-	-
W _{Total}	415,5	2251,2	0,0	2904,7	0,0	3001,7	0,0	3410,4
W _{Rata-rata}	13,9	75,0	0,0	93,7	0,0	96,8	0,0	113,7
EFF	0,86	0,92	-	0,94	-	0,95	-	0,88



Gambar 5. Grafik energi yang dihasilkan dalam MWh

Dari survei lokasi yang dilakukan peneliti diketahui PLTA Gajah Mungkur menggunakan generator sinkton 3 fasa tertutup dengan kapasitas sebesar 2 x 6,2 MW dalam yang bearti mampu diparalel dengan generator lain jika memenuhi kondisi yang dibutuhkan dan memiliki kutub di poros dan kutub tersebut berperan sebagai rotor.

Tabel 7. Tabel Nameplate Generator

Data Teknik	
Type	Permanent Magnetic Generator
Merk	Shinko Electric
Model	FENKL2-AW-3700
Machine No	92260
Output	7750kVA
Phase	3
Voltage	66000 V
Arm. Current	678 A
Frequency	50 Hz
Poles	22

Speed	273 rpm
Power Factor	0.9 lagging
Rating	Continuous
Exc Voltage	220 V

Perhitungan pada tabel 3 dan 4 didasarkan pada rata-rata debit air yang mengalir pada hari tersebut, pada bulan Januari generator PLTA bekerja secara optimal baik pada unit pembangkit 1 maupun pembangkit 2 dengan total daya yang dibangkitkan tiap unit sebesar 166,24 MW dan total produksi 332,48 MW dengan rata-rata 5,36 MW daya yang dibangkitkan pada tiap unit pembangkit yang berarti generator mampu bekerja 80 % dari kapasitas yang terpasang. Produksi daya listrik mengalami trend penurunan walaupun belum terlalu signifikan di bulan Februari dan Maret dengan total produksi daya masih diatas 100 MW pada tiap unit pembangkit dan daya yang dikeluarkan dari henerator masih diatas 53 % dari kapasitasnya. Bulan April unit 1 hanya beroperasi selama 8 hari dengan total produksi 25, 3 MW dan unit 2 masih beroperasi penuh. Bulan Mei secara teknis hanya ada 1 unit pembangkit yang bekerja pada satu waktu karena debit air yang menurun jauh dibanding pada bulan Januari. Bulan Juni menjadi bulan dengan produksi daya terendah sebesar 111 MW dengan rata-rata setiap hari hanya mampu membangkitkan 3,46 MW di unit 1 dan 3,13 MW di unit 2. Setelah bulan Juni trend produksi daya listrik sedikit meningkat yaitu bulan Juli unit 2 121,03 MW, bulan Agustus unit 2 125,07 MW dan bulan September unit 2 142,1 MW.

Tabel 5 dan 6 serta gambar 5 teramati bahwa trend energi listrik berbanding lurus dengan trend daya listrik, dimana puncak produksi energi terjadi pada bulan Januari dengan tiap unit pembangkit sebesar 3989,7 MWh dan total produksi sebesar 7979,5 MWh. Selama bulan Januari, Februari dan Maret rata-rata energi yang dibangkitkan satu unit selalu lebih dari 100 MWh tiap hari dengan total produksi tiap unit diatas 3000 MWh kecuali unit 2 pada bulan Maret yang hanya sebesar 85,1 MWh, setelah bulan April produksi rata-rata energi listrik tiap hari selalu dibawah 100 MWh dengan produksi terendah bulan Juni sebesar 13,9 MWh pada unit 1 dan 75 MWh di unit 2. Trend energi kembali naik antara bulan Juni sampai September dengan total

produksi bulan Juli unit 2 2904,7 MWh, bulan Agustus unit 2 3001,7 MWh dan September unit 2 sebesar 3410,4 MWh.

3.3 Menghitung NCF (*Net Capacity Factor*) dan CF (*Capacity Factor*).

Berdasarkan data yang berhasil dikumpulkan maka besarnya nilai *NCF* (*Net Capacity Factor*) dan nilai *CF* (*Capacity Factor*) adalah :

a. Nilai CF (*Capacity Factor*) Unit 1.

$$\begin{aligned} CF &= \frac{\text{Produksi Bruto}}{\text{Daya Mampu Netto} \times \text{Periode Jam}} \times 100 \% \\ &= \frac{13761,61 \text{ MWh}}{6,2 \text{ MW} \times 8260 \text{ jam}} \times 100 \% \\ &= 26,03 \% \end{aligned} \quad (7)$$

b. Nilai CF (*Capacity Factor*) Unit 2.

$$\begin{aligned} CF &= \frac{\text{Produksi Bruto}}{\text{Daya Mampu Netto} \times \text{Periode Jam}} \times 100 \% \\ &= \frac{24626,42 \text{ MWh}}{6,2 \text{ MW} \times 8260 \text{ jam}} \times 100 \% \\ &= 46,58 \% \end{aligned} \quad (8)$$

c. Nilai keseluruhan NCF (*Net Capacity Factor*).

$$\begin{aligned} NCF &= \frac{\text{Produksi Netto}}{\text{Daya Mampu Netto} \times \text{Periode Jam}} \times 100 \% \\ &= \frac{38388,03 \text{ MWh}}{12,4 \text{ MW} \times 8260 \text{ jam}} \times 100 \% \\ &= 37,48 \% \end{aligned} \quad (9)$$

Perhitungan *NCF* (*Net Capacity Factor*) dan *CF* (*capacity Factor*) dalam 1 tahun baik pada unit 1 maupun unit 2 diperoleh data nilai *CF* sebesar 26,03 % pada unit 1 dan 46,58 % pada unit 2 kemudian nilai *NCF* sebesar 37,48 % selama 1 tahun. Mengacu pada data tersebut maka berdasar DKP-IKP 2007: 1 tentang Prosedur Tetap Deklarasi Kondisi Pembangkit dan Indeks Kinerja Pembangkit PT. PLN (Persero) PLTA waduk Gajah Mungkur memenuhi standar nilai tahunan yakni 30

% - 50 %, maka dapat dikatakan bahwa PLTA waduk Gajah Mungkur mumpuni dalam hal operasi dan memproduksi energi listrik.

Berdasarkan perhitungan nilai energi yang dihasilkan oleh PLTA waduk Gajah Mungkur dapat digunakan untuk mengetahui besarnya pendapatan dari penjualan energi listrik tersebut, dengan contoh bulan Januari pada kedua unit pembangkit melalui persamaan:

$$\begin{aligned}
 Income_{unit1} &= W_{unit1} \times \text{Harga} & (10) \\
 &= 3989740 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1352/\text{kWh} \\
 Income_{Total} &= \text{Rp } 5.394.128.844 \times 2 \text{ unit} \\
 &= \text{Rp } 10.788.257.689
 \end{aligned}$$

Tabel 8. Potensi *income* dalam milyar

Bulan	<i>Income</i>
Januari	10,78 M
Februari	8,93 M
Maret	7,81 M
April	4,31 M
Mei	3,84 M
Juni	3,6 M
Juli	3,92 M
Agustus	4,05 M
September	4,61 M
<i>Income</i> _{Total}	51,85 M
<i>Income</i> _{Rata-rata}	5,76M

Mengacu pada tabel 7 di atas maka *income* yang didapatkan dalam 1 tahun mencapai 51,85 milyar dengan rata-rata perbulan mencapai 5,76 milyar, walaupun PLTA sempat nonaktif selama 3 bulan.

4. PENUTUP

Berdasarkan survei dan penelitian pada waduk Gajah Mungkur tentang analisis potensi daya listrik di pembangkit listrik tenaga air waduk Gajah Mungkur kabupaten Wonogiri yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan :

- a. Debit air pada waduk Gajah Mungkur pada bulan Januari akhir berada di titik tertinggi dengan $32,6 \text{ m}^3/\text{s}$ untuk kedua unit pembangkit, bulan Juli merupakan debit air berada di titik terendah dengan $22,4 \text{ m}^3/\text{s}$, rata-rata debit air dalam setahun pada waduk Gajah Mungkur terukur $21,6 \text{ m}^3/\text{s}$.
- b. Trend produksi daya listrik yang dihasilkan mengalami puncak di bulan Januari, dengan total daya listrik yang dibangkitkan sebesar 166,2 di kedua unit pembangkit. Tren seterusnya mengalami penurunan secara bertahap hingga terendah di bulan Juni dengan total produksi 17,3 MW unit 1 dan 93,8 pada unit 2, Antara bulan Mei sampai September secara teknis hanya ada 1 unit pembangkit yang bekerja saat satu waktu. Trend mengalami sedikit kenaikan tiap bulan hingga September.
- c. Energi listrik yang dihasilkan dalam 1 tahun mencapai 38,38 GWh dan memungkinkan pendapatan yang bisa diterima mencapai 51,9 milyar dalam 1 tahun.
- d. Dilihat dari persentase *NCF*, *CF* dan berdasar DKP-IKP 2007: 1 tentang Prosedur Tetap Deklarasi Kondisi Pembangkit dan Indeks Kinerja Pembangkit PT. PLN (Persero) maka PLTA Gajah Mungkur dinilai mampu dan mumpuni baik dari segi proses maupun produksi daya.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak yang telah membantu dan memberi motivasi dalam penelitian naskah publikasi sebagai berikut :

- 1) Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW atas nikmat, rahmat, dan hidayahNya sehingga penulis bisa menyelesaikan mata kuliah tugas akhir.
- 2) Ayah dan Ibu yang selalu mendoakan dan *support* finansial selama ini.
- 3) Mas Eko dan Mas Ian yang selalu membantu ketika ada kesulitan.
- 4) Bapak Agus S.T, M.T selaku pembimbing dalam pengerjaan tugas akhir.
- 5) Bapak Anang selaku supervisor PLTA Gajah Mungkur yang telah membantu dalam pengumpulan data.
- 6) Aji, Azis, Jimi, Rahmat, Wildan, Fajar, Bahar, Mukti, Ambon, Kiyong, Arif, Alam, Hasan, Ucit, Raika, Robi, Sadam, Jalu, Yogek dan Pak Babe yang memberi semangat dan inspirasi.
- 7) Teman-teman Teknik Elektro UMS umumnya dan angkatan 2015 khususnya yang telah membantu dalam banyak hal selama ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Albastomiroji. (2018). *Studi Kelayakan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Bendung Trani Kali Samin/Gembong Di Kabupaten Sukoharjo*. Publikasi Ilmiah. Surakarta: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Bagaskara, Hammam Nur. (2017). *Analisa Potensi Daya Listrik Pada Bendung Colo, Kec Nguter, Sukoharjo Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Publikasi Ilmiah. Surakarta: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Funsho, Mudathir (2009) *Distributed energy resources and benefits to the environments*. Volume 14 Issue 2, Pages 724-734
- Jacobsona, Mark Z dkk. (2015) *Providing all global energy with wind, water, and*

solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. Volume 39, Issue 3, March 2011, Pages 1154-1169

Kumar, singh. dkk (2015) *An Overview of Hydro-Electric Power Plant*. ISST Journal of Mechanical Engineering. Vol 6 No. 1

Lumsdon, Alexander E. dkk (2014) *A global boom in hydropower dam construction*. Aquatic Sciences Volume 77, Issue 1, pp 161–170

Postel, Sandra L. dkk. (1996) *Human Appropriation of Renewable Fresh Water*. Vol. 271, Issue 5250, pp. 785-788